

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.941

doi: 10.30987/2782-5957-2025-4-12-18

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ПОЛУЧИСТОВОМ ТОЧЕНИИ ЗАГОТОВКИ ИЗ СПЛАВА ТН1

Антон Геннадьевич Кисель<sup>1✉</sup>, Павел Валерьевич Целиков<sup>2</sup>, Станислав Андреевич Сухенко<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

<sup>1</sup> kisel1988@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8014-0550>

<sup>2</sup> patersort@list.ru; <https://orcid.org/0009-0008-6040-0600>

<sup>3</sup> sukhienko.005@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0002-1441-0732>

### Аннотация

В статье представлены исследования стойкости режущего инструмента при полуцистовой токарной обработке заготовки из сплава с памятью формы на примере никелида титана ТН1. Целью работы являлось повышение периода стойкости инструментов. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: выполнено планирование экспериментов; проведены стойкостные испытания; выведена математическая зависимость периода стойкости режущей пластины от параметров режимов резания; установлены закономерности изменения периода стойкости и разработаны рекомендации применения режимов обработки. Погрешность расчета по выведенной зависимости составила менее 4 %, что является высокой точно-

стью. Установлено, что параметрами наиболее эффективного по периоду стойкости режущего инструмента режима являются скорость резания  $V = 5$  м/мин и подача  $S = 0,03$  мм/об при глубине резания  $t = 0,3$  мм. Повышение производительности обработки приведет к снижению периода стойкости режущей пластины.

Новизной работы являются установленная математическая зависимость и экспериментально установленные закономерности изменения периода стойкости режущего инструмента от параметров режима резания.

**Ключевые слова:** обработка, никелид титана, период, стойкость, пластина, скорость, резание, подача, глубина.

Ссылка для цитирования:

Кисель А.Г. Исследование стойкости режущего инструмента при полуцистовой точении заготовки из сплава ТН1 / А.Г. Кисель, П.В. Целиков, С.А. Сухенко // Транспортное машиностроение. – 2025. - № 4. – С. 12-18. doi: 10.30987/2782-5957-2025-4-12-18.

Original article

Open Access Article

## STUDY OF CUTTING TOOL DURABILITY DURING SEMI-ROUGH TURNING OF A WORK PIECE MADE OF TN1 ALLOY

Anton Gennadievich Kisel<sup>1✉</sup>, Pavel Valerievich Tselikov<sup>2</sup>, Stanislav Andreevich Sukhenko<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>1</sup> kisel1988@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8014-0550>

<sup>2</sup> patersort@list.ru; <https://orcid.org/0009-0008-6040-0600>

<sup>3</sup> sukhienko.005@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0002-1441-0732>

### Abstract

The paper presents studies of the durability of cutting tools during semi-rough turning of a workpiece made of a shape-memory alloy by the example of titanium nickelide TN1. The study objective is to increase the durability of tools. To achieve this goal, the following tasks are solved: experimental planning is done; durability tests are carried out; a mathematical depend-

ence of the durability period of the cutting plate on the parameters of the cutting modes are derived; patterns of changes in the durability period are found out and recommendations for the use of processing modes are developed. The calculation error based on the derived dependence is less than 4%, which is high accuracy. It is found out that the parameters of the most effective

cutting tool durability mode are cutting speed  $V = 5$  m/min and feed rate  $S=0.03$  mm/rpm at a cutting depth  $t=0.3$  mm. An increase in machining performance will lead to a decrease in the durability period of the cutting plate.

*Reference for citing:*

*Kisel AG, Tselikov PV, Sukhenko SA. Study of cutting tool durability during semi-rough turning of a work piece made of TN1 alloy. Transport Engineering. 2025;4:12-18. doi: 10.30987/2782-5957-2025-4-12-18.*

## Введение

В конструкции космических аппаратов для подачи жидкости или газа при возникновении определенных условий применяют клапаны однократного действия. Приводы таких клапанов изготавливают из сплавов с памятью формы. Наиболее часто применяемым сплавом с памятью формы является нитинол, или никелид титана (сплав ТН1).

Помимо производства аэрокосмической техники [1, 2, 3], сплав ТН1 применяется также:

– при производстве силовых приводов при изготовлении наземной техники [4, 5, 6];

– при соединении трубопроводов [7, 8, 9];

– в медицинской технике – при протезировании и изготовлении имплантатов [10, 11, 12];

## Материалы, модели, эксперименты и методы

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Выполнить планирование экспериментов для стойкостных испытаний режущих инструментов при получистовой токарной обработке сплава ТН1 с различными режимами;

2. Провести стойкостные испытания;

3. Вывести математическую зависи-

The novelty of the work is the mathematical dependence and experimentally established patterns of change in the period of durability of a cutting tool on the parameters of the cutting mode.

**Keywords:** machining, titanium nickelide, period, durability, plate, speed, cutting, feed, depth.

– в ветеринарии [13, 14, 15];

– в нефтедобывающей промышленности для автоматизации процессов [16, 17, 18].

Несмотря на достаточно широкое применение сплавов с памятью формы, в литературе не уделено должного внимания вопросам обрабатываемости данных материалов резанием. Исследование данных свойств позволит обеспечить рациональные условия обработки, что может привести к повышению стойкости режущих инструментов, повышению качества получаемой поверхности и точности размеров и повышению производительности в целом. Целью данной работы являлось повышение периода стойкости инструментов при получистовой токарной обработке заготовок из никелида титана ТН1.

мость исследуемого параметра от режимов резания;

4. Установить закономерности изменения исследуемого параметра и разработать рекомендации применения режимов обработки.

Экспериментальные исследования проводились на настольном токарном станке с компьютерной системой ЧПУ модели УТС 6 (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид станка с ЧПУ модели УТС6  
Fig. 1. Appearance of the CNC machine model UTS6

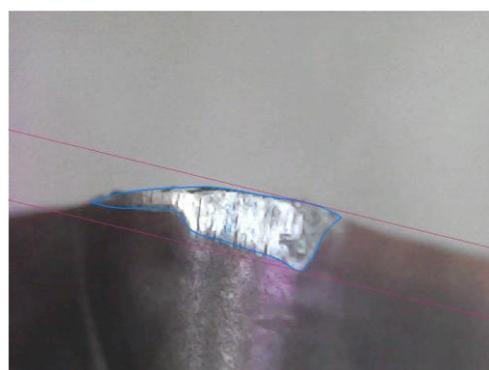
С целью снижения количества влияющих факторов исследования проводились без применения смазочно-охлаждающей жидкости.

В качестве режущего инструмента применялся токарный резец со сменной твердосплавной режущей пластиной *ССМТ09Т308-ЕМ* производства компании *ZCC-CT* с покрытием *PVD*. Данная режущая пластина может применяться для чистовых и получистовых режимов обработки заготовок из жаропрочных и коррозионностойких сплавов.

Заготовка из сплава ТН1 имела диаметр 10 мм. Применявшиеся при исследованиях режимы обработки, соответствующие используемым на машиностроительных предприятиях при точении исследуемого материала, представлены в табл. 1. Глубина резания  $t$  во всех опытах принималась равной 0,3 мм. Варьируемыми факторами были скорость резания  $V$ , м/мин, и подача  $S$ , мм/об.



а)



б)

Рис. 2. Пример измерения износа режущей пластины по задней поверхности: а – тарировочная шкала; б – измерение износа

Fig. 2. Example of measuring flank wear of a cutting insert: а – calibration scale; б – wear measurement

## Результаты

По результатам проведенных исследований были построены графики зависимостей величины износа режущего инструмента по задней поверхности  $h_3$ , мм, от времени  $T$ , мин, для каждого опыта (рис. 3).

В результате проведенных исследований было установлено время обработки до достижения необходимого износа для каждого из применявшихся режимов (периоды стойкости).

Оценка полученных результатов по-

Контролируемым параметром был принят износ режущей пластины по задней поверхности. Величина износа определялась по наибольшей высоте изношенного участка с помощью цифрового микроскопа, настроенного с помощью тарировочной шкалы, и CAD-системы КОМПАС-3D (рис. 2).

Предельное значение износа, до которого изнашивалась пластина, с целью сокращения времени проведения испытаний, было принято равным 0,3 мм.

Таблица 1

План эксперимента

Table 1

Experimental plan

№ опыта	$V$ , м/мин	$S$ , мм/об
1	5	0,03
2	30	0,03
3	5	0,2
4	30	0,2

казывает, что параметрами наиболее эффективного по периоду стойкости режущего инструмента режима являются скорость резания  $V = 5$  м/мин и подача  $S = 0,03$  мм/об при глубине резания  $t = 0,3$  мм.

Полученные результаты позволяют вывести константы для зависимости периода стойкости от параметров режимов резания в применявшихся диапазонах по следующим выражениям:

$$X = \frac{\lg\left(\sqrt{\frac{T_{cm2}T_{cm4}}{T_{cm1}T_{cm3}}}\right)}{\lg\left(\frac{V_B}{V_H}\right)}, \quad (1)$$

$$Y = \frac{\lg\left(\sqrt{\frac{T_{cm3}T_{cm4}}{T_{cm1}T_{cm2}}}\right)}{\lg\left(\frac{S_B}{S_H}\right)}, \quad (2)$$

$$C_T = \frac{\sqrt[4]{T_{cm1}T_{cm2}T_{cm3}T_{cm4}}}{(V_B V_H)^{X/2} (S_B S_H)^{Y/2}}, \quad (3)$$

где  $T_{cmi}$  – период стойкости в  $i$ -ом эксперименте;  $V_B, V_H$  – соответственно, верхнее и нижнее значения применявшихся скоростей резания, м/мин;  $S_B, S_H$  – соответственно, верхнее и нижнее значения применявшихся подач, мм/об.

В результате была получена зависимость вида:

$$T_{cm} = C_T V^X S^Y, \quad (4)$$

Расчеты по выражениям 1–3 позволили определить требуемые константы (табл. 3).

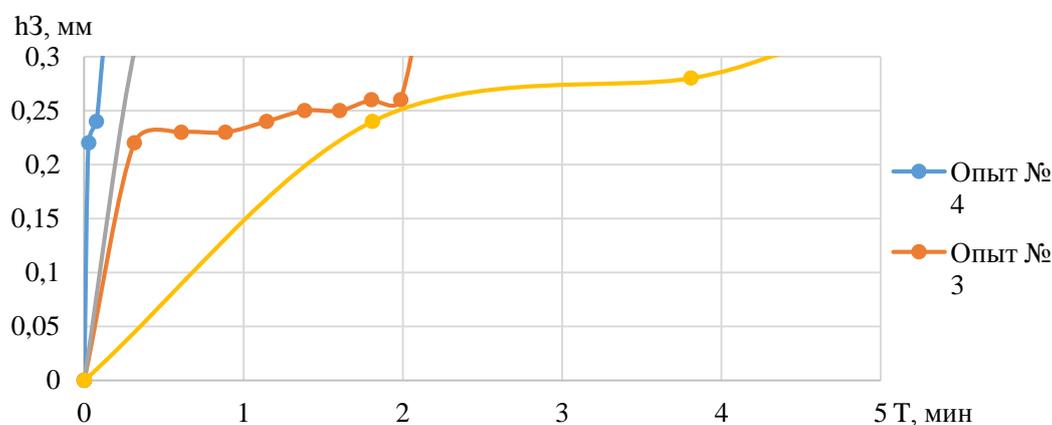


Рис. 3. Графики зависимостей величины износа режущей пластины от времени.

Экспериментально установленные периоды стойкости  $T_{cm}$ , мин, режущей пластины сводились в таблицу (табл. 2)

Fig. 3. Graphs of the amount of wear of the cutting insert versus time. The experimentally determined periods of durability  $T_{st}$ , min, of the cutting insert were summarized in a table (Table 2)

Таблица 2  
Результаты исследований периода стойкости режущей пластины

Table 2  
Results of studies of the cutting insert stability period

№ опыта	$T_{cm}$ , мин
1	4,63
2	0,32
3	2,03
4	0,12

С целью проверки точности расчетов по выведенной зависимости установленные константы были подставлены в выражение 4, после чего были определены расчетные значения периодов стойкости для

применявшихся в испытаниях режимов. Результаты расчетов величин периода стойкости режущей пластины при испытанных режимах резания представлены в табл. 4.

Таблица 3  
Константы формулы для расчета периода стойкости

Table 3  
Formula constants for calculating the durability period

Константы	Значения
X	-1,53489
Y	-0,47581
$C_{Tcm}$	10,73479

Итоговая формула для расчета периода стойкости имеет вид:

$$T_{cm} = 10,73479V^{-1,53489}S^{-0,47581}. \quad (5)$$

Оценка полученных результатов показала, что расчет по выражению 5 позволяет определить величину периода стойкости режущей пластины при обработке заготовки из сплава ТН1 с погрешностью менее 4 %, что является высокой точностью.

### Заключение

По результатам проведенных исследований были сформулированы следующие выводы:

1. Выполнено планирование экспериментов для стойкостных испытаний при точении заготовки из сплава с памятью формы никелида титана ТН1. Применявшимися факторами являлись скорость резания  $V$  и подача  $S$ , которые принимали следующие значения:  $V_H = 5$  м/мин;  $V_B = 30$  м/мин;  $S_H = 0,03$  мм/об;  $S_B = 0,2$  м/мин. Глубина резания во всех опытах была принята равной 0,3 мм;

2. Проведены стойкостные испытания, по результатам которых построены графики зависимостей величины износа твердосплавной режущей пластины по задней поверхности от времени и установлены периоды стойкости до достижения износа, равного 0,3 мм;

3. Установлена математическая зависимость периода стойкости режущего ин-

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Патент № 2821357 С1 Российская Федерация, МПК F16K 17/38, F16K 17/40. Клапан однократного действия высокого давления : № 2023130441 : заявл. 21.11.2023 : опубл. 21.06.2024 / Н. М. Вертаков, В. А. Гречушников, А. В. Каташов, В. А. Панфилов ; заявитель Акционерное общество «Опытное конструкторское бюро «Факел».
2. Логачева А. И. Гранулированный сплав с эффектом памяти формы на основе никелида титана для изделий космической техники / А. И. Логачева // Металлы. 2014. № 6. С. 89-94.
3. Применение порошковой (гранульной) металлургии для изготовления втулок замковых соединений из сплава на основе никелида титана с эффектом памяти формы / А. И. Логачева, А. В. Логачев, В. Г. Кобелева [и др.] // Конструкции

Таблица 4  
Расчетные значения периода стойкости  
режущей пластины

Table 4

Calculated values of the cutting  
insert life period

№ опыта	$T$ , мин	$\varepsilon$ , %
1	4,81	3,89
2	0,31	3,13
3	1,95	3,94
4	0,12	0

струмента от параметров режима резания, которая имеет следующий вид:

$$T_{cm} = 10,73479V^{-1,53489}S^{-0,47581}.$$

4. Показатели степени в полученном выражении являются отрицательными, что говорит об обратной зависимости периода стойкости и варьируемых параметров режима резания при соблюдении принятых интервалов;

5. Погрешность расчета по выведенной зависимости составила менее 4 %, что является высокой точностью;

6. Установлено, что параметрами наиболее эффективного по периоду стойкости режущего инструмента режима являются скорость резания  $V = 5$  м/мин и подача  $S = 0,03$  мм/об при глубине резания  $t = 0,3$  мм. Повышение производительности обработки приведет к снижению периода стойкости режущей пластины.

из композиционных материалов. 2015. № 1(137). С. 9-14.

4. Использование материалов с памятью формы в технических устройствах / В. К. Алехина, Р. М. Бикбаев, В. А. Глушников, Ф. В. Гречников // Вестник машиностроения. 2019. № 9. С. 63-65.
5. Алехина В. К. Деформирующие устройства с многозвенным силоприводом из материала с "памятью формы" / В. К. Алехина, В. А. Глушников, Р. М. Бикбаев // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2019. № 6. С. 18-25.
6. Особенности механического поведения силовых приводов кольцевой формы, действующих в режиме обратимой памяти формы / Н. Н. Белосусов, Е. А. Хлопков, М. В. Янченко, Ю. Н. Вьюненко // Журнал технической физики. 2021.

- T. 91, № 2. С. 262-266. – DOI: 10.21883/JTF.2021.02.50360.353-19.
7. Андронов И. Н. Использование соединения из материала с памятью в качестве функционального элемента водоводов высокого давления / И. Н. Андронов, Е. В. Семиткина // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2016. № 10. С. 45-49.
  8. Разборные термомеханические соединения трубопроводов муфтами, изготовленными из сплавов с памятью формы систем Ti-Ni-Fe и Ti-Ni-Nb / Н. Н. Попов, В. Ф. Ларькин, Д. В. Пресняков [и др.] // Труды РФЯЦ-ВНИИЭФ. 2018. № 23-2. С. 348-361.
  9. Шумилов И. С. Термомеханические соединения трубопроводов авиационных систем управления. Перспективы / И. С. Шумилов, Д. Б. Чернов, С. Д. Чернова // Гидравлика. – 2018. – № 1(5). – С. 175-193.
  10. Патент № 2684705 С1 Российская Федерация, МПК А61F 2/00, А61М 29/00. Способ снижения веса тела человека внутрижелудочным стентом : № 2017138377 : заявл. 03.11.2017 : опубл. 11.04.2019 / А. Б. Бондарев.
  11. Патент на полезную модель № 179188 U1 Российская Федерация, МПК В25J 9/06, А61Н 1/02. экзоскелет локтевого сустава : № 2016127368 : заявл. 06.07.2016 : опубл. 03.05.2018 / А. В. Синегуб ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет».
  12. Патент № 2557918 С1 Российская Федерация, МПК А61В 17/56, А61F 2/02. способ протезирования пульпозного ядра межпозвоночного диска : № 2014127674/14 : заявл. 07.07.2014 : опубл. 27.07.2015 / Е. А. Давыдов, М. Ю. Коллеров, О.

Н. Тюлькин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение "Российский научно-исследовательский нейрохирургический институт имени профессора А.Л. Поленова" Министерства здравоохранения Российской Федерации.

13. Чернигова С. В. Обоснование состояния анатомических структур позвоночно-двигательного сегмента при остеосинтезе позвоночника у собак методами объективного контроля / С. В. Чернигова, Е. С. Дочилова, Ю. В. Чернигов // Известия Международной академии аграрного образования. 2018. № 42-2. С. 197-201.
14. Козлов Н. А. Современные материалы для имплантов применяемые в лечении собак с синдромом Вобблера / Н. А. Козлов, А. А. Холопова // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2021. Т. 248, № 4. С. 123-128. – DOI 10.31588/2413-4201-1883-248-4-123-128.
15. Патент № 2727649 С1 Российская Федерация, МПК А61D 99/00. Способ лечения промежностной грыжи у собак : № 2020109369 : заявл. 03.03.2020 : опубл. 22.07.2020 / А. В. Чернов.
16. Лопухов, А. Н. Применение интеллектуальных сплавов для автоматизации нефтепромыслов / А. Н. Лопухов // Нефть. Газ. Новации. 2012. № 10(165). С. 70-76.
17. Патент № 2435933 С1 Российская Федерация, МПК Е21В 33/12. Пакер халова : № 2010122065/03 : заявл. 01.06.2010 : опубл. 10.12.2011 / М. О. Халов.
18. Патент № 2324097 С2 Российская Федерация, МПК F16K 15/00, F16K 15/04. Обратный клапан : № 2006112088/06 : заявл. 11.04.2006 : опубл. 10.05.2008 / В. В. Становской, В. Э. Гюнтер, С. М. Казакивичюс [и др.].

## REFERENCES

1. Vertakov NM, Grechushnikov VA, Katashov AV, Panfilov VA. RF Patent No. 2821357 C1 МПК F16K 17/38, F16K 17/40. Single-acting high-pressure valve. 2024 Jun 21.
2. Logacheva AI. Granular alloy with shape memory effect based on titanium nickelide for space technology products. *Metally*. 2014;6:89-94.
3. Logacheva AI, Logachev AV, Kobeleva VG. Application of powder (granular) metallurgy for the manufacture of lock joint bushings from an alloy based on titanium nickelide with a shape memory effect. *Composite Materials Constructions*. 2015;1(137):9-14.
4. Alekhina VK, Bikbaev RM, Glushchenkov VA, Grechnikov FV. The use of materials with shape memory in technical devices. *Russian Engineering Research*. 2019;9:63-65.
5. Alekhina VK, Glushchenkov VA, Bikbaev RM. Deforming devices with multi-link force actuator from material with a «shape memory». *Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure*. 2019;6:18-25.
6. Belousov NN, Khlopkov EA, Yanchenko MV, Vyunenکو YuN. Specific features in mechanical behavior of ring-shaped force drives operating in the two-way shape memory effect regime. *Technical Physics*. 2021;91(2):262-266. DOI: 10.21883/JTF.2021.02.50360.353-19.
7. Andronov IN, Semitkina EV. The use of a compound made of a memory material as a functional element of high-pressure pipelines. *Construction of Oil and Gas Wells on Land and Sea*. 2016;10:45-49.
8. Popov NN, Larkin VF, Presnyakov DV. Separable thermomechanical connections of pipelines with couplings made of alloys with shape memory of Ti-Ni-Fe and Ti-Ni-Nb systems. *Trudi RFYuTs-VNIIEF*. 2018;23-2:348-361.
9. Shumilov IS, Chernov DB, Chernova SD. Thermomechanical connections of pipelines of aviation control systems. *Prospects. Hydraulics*. 2018;1(5):175-193.
10. Bondarev AB. RF Patent No. 2684705 C1 МПК А61F 2/00, А61М 29/00. A method of reducing

- human body weight with an intragastric stent. 2019 Apr 11.
11. Sinegub AV. RF Patent for utility model No. 179188 U1 МПК B25J 9/06, A61H 1/02. Elbow exoskeleton. 2018 March 05.
  12. Davydov EA, Kollerov MYu, Tyulkin ON. RF Patent No. 2557918 C1 МПК A61B 17/56, A61F 2/02. Method to make a prosthetic appliance of the pulposus nucleus of the intervertebral disc. 2015 Jul 27.
  13. Chernigov SV, Dochilova ES, Chernigov YuV. Substantiation of the state of anatomical structures of the vertebral-motor segment during osteosynthesis of the dog spine by methods of objective control. Proceedings of the International Academy of Agrarian Education. 2018;42-2:197-201.

14. Kozlov NA, Kholopova AA. Modern materials for implants used in the treatment of dogs with Wobler syndrome. Scientific Notes of Kazan Academy of Veterinary Medicine named after NE Bauman. 2021;248(4):123-128. DOI 10.31588/2413-4201-1883-248-4-123-128.
15. Chernov AV. RF Patent No. 2727649 C1 МПК A61D 99/00. Method of treating dog's perineal hernia. 2020 Jul 22.
16. Lopukhov AN. Application of intelligent alloys for automation of oil fields. Neft. Gas. Novatsii. 2012;10(165):70-76.
17. Khalov MO. RF Patent No. 2435933 C1 МПК E21B 33/12. Khalov's packer. 2011 Oct 12.
18. Stanovskoy VV, Gunter VE, Kazakyavicus SM. RF Patent No. 2324097 C2 МПК F16K 15/00, F16K 15/04. Check valve. 2008 May 10.

### Информация об авторах:

**Кисель Антон Геннадьевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Инжиниринга технологического оборудования» ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», г. Калининград, тел. +7-999-458-08-25.

**Целиков Павел Валерьевич** – аспирант кафедры «Инжиниринга технологического оборудования»

**Kisel Anton Gennadievich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technological Equipment Engineering, Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, tel. +7-999-458-08-25.

**Tselikov Pavel Valerievich** – Postgraduate Student of the Department of Technological Equipment Engineer-

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», г. Калининград.

**Сухенко Станислав Андреевич** – студент кафедры «Инжиниринга технологического оборудования» ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», г. Калининград.

ing, Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad.

**Sukhenko Stanislav Andreevich** – Student of the Department of Technological Equipment Engineering, Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad.

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**

**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья опубликована в режиме Open Access.**

**Article published in Open Access mode.**

Статья поступила в редакцию 22.02.2025; одобрена после рецензирования 07.03.2025; принята к публикации 26.03.2025. Рецензент – Хандожко А.В., доктор технических наук, профессор кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Брянского государственного технического университета, главный редактор журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 22.02.2025; approved after review on 07.03.2025; accepted for publication on 26.03.2025. The reviewer is Khandozhko A.V., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Metal Cutting Machines and Tools at Bryansk State Technical University, Editor-in-Chief of the journal *Transport Engineering*.